

## Helicopter rotor blade of glass fibre reinforced synthetic resin

Patent number: DE19528155

Publication date: 1996-06-27

Inventor: BUETER ANDREAS (DE); PIENING MATTHIAS (DE)

Applicant: DEUTSCHE FORSCH LUFT RAUMFAHRT (DE)

Classification:

- International: B64C27/473; B64C27/57; F03D1/06

- european: B64C27/615; F03D1/06C; F03D7/02C2

Application number: DE19951028155 19950802

Priority number(s): DE19951028155 19950802

Also published as:

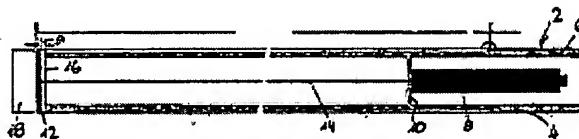
US5730581 (A1)

FR2737465 (A1)

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19528155

The rotor blade (2) has a profile at the tip of the blade which is rotated about the rotor blade longitudinal axis via actuators. The torsion skin (6) of the rotor blade is anisotropic at the blade tip, for providing a tension-rotation coupling and associated with a control actuator (8), extending in the longitudinal direction of the rotor blade. Pref. the control actuator provides a controlled normal force at the end face of the rotor blade tip and is pref. provided by a piezoactuator, extended in length for rotation of the blade tip in one direction and reduced in length for its rotation in the opposite direction.



Data supplied from the [esp@cenet](#) database - Worldwide



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 195 28 155 C 1

⑮ Int. Cl. 8:  
B 64 C 27/473  
B 64 C 27/57  
F 03 D 1/08

⑰ Aktenzeichen: 195 28 155.1-22  
⑱ Anmeldetag: 2. 8. 95  
⑲ Offenlegungstag: —  
⑳ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 27. 8. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑳ Patentinhaber:

Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt  
e.V., 53175 Bonn, DE

㉑ Vertreter:

Einsel, M., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 38102  
Braunschweig

㉒ Erfinder:

Büter, Andreas, 38102 Braunschweig, DE; Piening,  
Matthias, 38110 Braunschweig, DE

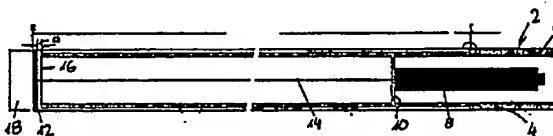
㉓ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 28 58 400  
DE-OS 22 38 250  
US 38 22 105

JP-Abstr. M 1274 July 2, 1992, Vol. 16/No. 299;  
US-Z.: Aviation Week & Space Technology, April 20,  
1987, S. 50-53,58;

㉔ Verdrehbares Rotorblatt aus faserverstärktem Kunstharz

㉕ Rotorblatt aus faserverstärktem Kunstharz, dessen Profil  
wenigstens im Bereich der Blattspitze durch Aktuatoren um  
die Rotorblattlängssachse verdrehbar ausgebildet ist. Die  
Torsionshaut des Rotorblattes ist im Bereich der Blattspitze  
(r-R) anisotrop im Sinne einer Zug-Drehkopplung ausgebil-  
det und im Rotorblattholm (4) ist ein in Längsrichtung des  
Rotorblattes auf die Rotorblattspitze wirkender steuerbarer  
Aktuator angeordnet. Zur Erreichung der Anisotropie der  
Torsionshaut ist eine einseitige Wicklung mit einem Wickel-  
winkel kleiner als 45° zur Rotorblattlängssachse. Der Wickel-  
winkel ist vom Kraft-Weg-Verhältnis des Aktuators abhängig  
und kann zwischen 18° und 40° liegen. Im Bereich der  
Blattspitze ist die anisotrop ausgebildete Torsionshaut lose  
auf dem Rotorblattholm aufliegend angeordnet.



DE 195 28 155 C 1

DE 195 28 155 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein verdrehbares Rotorblatt aus faserverstärktem Kunstharz, dessen Profil wenigstens im Bereich der Blattspitze durch Aktuatoren um die Rotorblattlängsachse verdrehbar ausgebildet ist.

Bei Rotorblättern großer Längserstreckung und geringer Profiltiefe, wie sie insbesondere im rotierenden Tragwerk von Drehflüglern, insbesondere Hubschraubern, verwendet werden, führen die Luftkräfte zu Rotorblattschwingungen und Vibrationen, die wesentlich zu der Geräuschabstrahlung und Schwingungen des Rumpfes führen. Bei einem Drehflügler, insbesondere Hubschrauber, wirken sich dabei weiter die unterschiedlichen Kräfte aus, die in Abhängigkeit von der Winkelstellung des jeweiligen Rotorblattes zur Rumpflängsachse unterschiedlich wirksam werden. Einflußgrößen für das dynamische System des Rotors sind die dynamischen Eigenschaften der Rotorblätter, ihre Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsverhältnisse sowie die Blattanschlüßbedingungen.

Vorstehendes gilt sinngemäß auch für sonstige Rotorblätter mit Rotorblättern großer Längserstreckung und geringer Profiltiefe, wie sie beispielsweise in Windrädern verwendet werden.

Aus einem Vortrag mit dem Titel "Feasibility of Arbitrary Pitching Motion Controlled by Piezoceramic Actuators to Reduce Blade-Vortex Interaction Noise", gehalten von Marc P. Amerigo und James D. Baeder auf dem American Helicopter Society 51st Annual Forum, Fort Worth Tx May 9–11, 1995 ist es bekannt, eine Verdrehung eines orthotrop gewickelten Rotorblattes durch in die Torsionshaut des Rotorblattes integrierte streifenförmige flächige Piezoelemente herbeizuführen, und zwar an den beiden Profiloberseiten, jeweils mit entgegengesetzter Wickelrichtung. Piezoelemente dieser Art sind hinsichtlich der für die Verdrehung aufzubringenden Kräfte begrenzt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Rotorblatt der gattungsgemäß Art so auszubilden, daß die Verdrehung des Rotorblattes zur Veränderung der aero-elastischen Bewegungsgleichungen des Rotors und des durch den Rotor angetriebenen Systems in einfacherer und effektiver Weise möglich wird.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch die im Patentanspruch 1 herausgestellten Merkmale.

Zweckmäßige Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung ist in der Zeichnung beispielsweise veranschaulicht und im nachstehenden im einzelnen anhand der Zeichnung beschrieben.

Fig. 1 zeigt in einem Längsschnitt die Spitze eines Rotorblattes in erfindungsgemäßer Ausbildung.

Fig. 2 zeigt schematisch die Blattverdrehung an der Spitze eines erfindungsgemäß ausgebildeten Rotorblattes und weiter den prinzipiellen Aufbau eines möglichen Regelungskonzeptes.

Das in Fig. 1 mit dem Bereich seiner Blattspitze dargestellte Rotorblatt 2 weist im rechts vom Radius dargestellten Bereich einen üblichen Aufbau mit einem durch Unidirektionalfasern biege- und zugsteif verstärkten Holmträger 4 und einer darauf angeordneten und fest mit dem Holm verbundenen torsionssteifen Haut 6 auf. Im Bereich der Blattspitze zwischen den Radien r und R ist die Torsionshaut 6 von dem Holmträger entkoppelt. Sie kann zu diesem Zweck lose auf dem Holmträger aufliegend ausgebildet sein. Es ist aber auch möglich,

zwischen der Torsionshaut und dem Holmträger in diesem Bereich eine schubweiche Zwischenschicht anzordnen, über die die Torsionshaut auf dem Rotorblattholm in ihrer Lage gehalten wird und die gleichzeitig als Wicklungsträger beim Wickeln der Torsionshaut dienen kann.

In dem Bereich r-R ist die Torsionshaut 6 zur Erreichung einer Zug-Drehkopplung durch eine Zusatzwicklung mit einer Wickelrichtung anisotrop ausgebildet. 10 Damit führt eine in Längsrichtung des Rotorblattes auf die Rotorblattspitze in Richtung auf die Blattwurzel einwirkende Normalkraft in diesem Bereich zu einer Verdrehung der Torsionshaut auf dem Rotorblattholm. Durch diese Verdrehung werden die Anströmbedingungen 15 verändert und über diese Änderung lassen sich Störgrößen, wie sie z. B. aus Luftkraftschwankungen, Blattbewegungen, Wirbeln und dergleichen resultieren, beeinflussen.

Zur Vermeidung von Steifigkeitssprüngen ist im Bereich des Überganges von der auf dem Holm befestigten Torsionshaut zum drehbaren Bereich der Torsionshaut ein stetiger Übergang von der anisotropen Wicklung der Torsionshaut im Bereich der Blattspitze in die Wicklung der Torsionshaut im radial einwärts davon liegenden Bereich des Rotorblattes notwendig durch allmähliche Anpassung des Wickelwinkels der Zusatzwicklung.

Der Wickelwinkel der anisotropen Zusatzwicklung ist abhängig von der Kraft, die von dem gewählten Aktuator 20 aufbringbar ist, und dem mit dem Aktuator durchführbaren Weg. Der Wickelwinkel ist um so kleiner zu wählen, je geringer der Weg bei großer Kraft ist. So kann dieser Winkel beispielsweise in der Größenordnung von 18° zur Rotorblattlängsachse liegen bei Verwendung eines Piezoaktuators, der bei kleinen Längenänderungen große Kräfte aufzubringen vermag. Bei einem Aktuator mit kleinen Kräften aber großen Längenänderungen kann die anisotrope Zusatzwicklung beispielsweise mit einem Winkel in der Größenordnung 25 von 40° zur Rotorblattachse liegen. Die Zusatzwicklung kann unter, aber auch über der ± 45°-Wicklung der Torsionshaut angeordnet sein.

Eine Verdrehung der Torsionshaut 6 im Bereich der Blattspitze und damit eine Änderung des Anströmwinkels wird bei der Ausführungsform nach Fig. 1 über einen Druckkräften in Längsrichtung des Rotorblattes erzeugenden Aktuator 8 bewirkt. Dieser Aktuator kann beispielsweise ein Piezo-Aktuator, ein magnetostrukturiver Aktuator, aber auch ein Aktuator in Hybridausführung mit einer Kombination verschiedener Aktuatorformen sein. Der Aktuator ist auf der von der Blattspitze abgewandten Seite einer im Holm angeordneten Stützwand 10 befestigt und axial festgelegt.

An der Spitze des Rotorblattes ist eine Ankerplatte 12 angeordnet, die stirnseitig auf dem Ende der anisotropen Torsionshaut aufliegt und darüberhinaus fest mit dem Ende der anisotrop gewickelten Torsionshaut verbunden ist. Zwischen dem Aktuator 8 und der Platte 12 ist ein Zugelement 14 angeordnet, das mit seinem einen Ende auf dem von der Blattspitze abgewandten Ende des Aktuators 8 befestigt ist und mit seinem anderen Ende fest mit der Ankerplatte 12 verbunden ist. Als Zugkraft übertragendes Mittel kann ein Strang aus hochfesten Fasern geringer Dehnung vorgesehen sein.

Durch eine Längenänderung des Aktuators 8 wird über das Zugelement 14 und die Ankerplatte 12 auf die Stirnseite der Torsionshaut eine Druckkraft übertragen, die eine von der Anisotropie der Torsionswicklung ab-

hängige Verdrehung des Rotorblattprofils – Winkel  $\alpha$  – hervorruft, wie in Fig. 2 schematisch dargestellt. Um die die Torsion bewirkende Bewegung durchführen zu können, ist zwischen der Ankerplatte 12 und der Stirnseite 16 des Holms ein Abstand a vorzusehen.

Durch eine Kürzung des Aktuators können sich die auf die Blattspitze wirkenden Zentrifugalkräfte im Sinne einer Verdrehung mit entgegengesetztem Verdrehwinkel auswirken.

Der anisotrop gewickelte Abschnitt der Torsionshaut wird durch die aufgebrachte Druckkraft elastisch verformt. Die dabei in die Torsionshaut induzierten Kräfte können als Rückstellkräfte genutzt werden. Zusätzlich dazu können auch Fliehkräfte zur Rückdrehung der Torsionshaut verwendet werden. So kann an der Ankerplatte 12 eine Masse 18 befestigt sein, die über die Ankerplatte, die in diesem Fall schubfest mit dem Ende der anisotropen Torsionshaut zu verbinden ist, auf die anisotrope Torsionshaut wirkt. Hierfür kann die vielfach am Ende von Rotorblättern ohnehin angebrachte Masse, z. B. von Anbauteilen, verwendet werden.

Durch eine Verkürzung des Aktuators 8 kann über die Masse 18 der Abschnitt der anisotrop gewickelten Torsionshaut durch die Zentrifugalkraft auf Zug beansprucht werden, was eine von der Anisotropie der Torsionswicklung abhängige entgegengesetzte Verdrehung des Rotorblattprofils – Winkel  $\alpha$  – hervorruft.

Als Aktuatoren finden vorzugsweise solche Verwendung, die elektrisch steuerbar sind. In diesem Fall brauchen dann über die Länge des Rotorblattes von der Rotorblattwurzel bis zum Aktuator nur elektrische Leiter verlegt zu werden.

Bei Verwendung elektrisch betätigter Aktuatoren ist die Änderung des Anstellwinkels des Profils im Bereich der Blattspitze in einfacher Weise strom- oder spannungsabhängig varierbar.

In Fig. 2 ist das Rotorblatt Teil eines Rotors mit der Drehachse 20. An dem Rotorblatt lassen sich durch Dehnungsmessstreifen in bekannter Weise die Biegebeanspruchungen erfassen, die u. a. durch Luftkraftschwankungen aber auch Rotorblattschwingungen beeinflußt werden. In einer Struktur, die durch den Rotor angetrieben wird, beispielsweise einem Hubschrauber, stehen Referenzquellen für die Stellung der Rotorblätter relativ zur Rumpflängsachse zur Verfügung, beispielsweise am Rotorkopf oder am Antrieb. Eine weitere Referenzquelle ist beispielsweise die Lage der die Blattdrehbewegungen steuernden Taumelscheibe.

So lassen sich mit Hilfe der erfundungsgemäß ausgebildeten Rotorblattspitze über eine Variation des Anstellwinkels (regelbare Blattverwindung) zusätzliche Luftkräfte erzeugen, die die aeroelastischen Bewegungsgleichungen verändern. Die damit verbundene Beeinflussung der dynamischen Blattbewegungen des Rotors (Schlag-, Schwenk- und Torsionsbewegung) ermöglicht so eine gezielte Änderung des effektiven Anstellwinkels, der sich aus dem geometrischen Anstellwinkel (Anstellwinkel aus: kollektiver Blattverstellung, zyklischer Blattverstellung und regelbarer Blattverwindung) und einem aus den Blattbewegungen induzierten Anstellwinkel zusammensetzt. Diese Beeinflussung der Rotordynamik ermöglicht die folgende Einflußnahme:

1. eine Kontrolle der aeroelastischen Instabilitäten (durch Regelung),
2. eine gezielte Beeinflussung der Luftkräfte, um durch das Strömungsfeld induzierte Störungen direkt zu kompensieren (durch Regelung) und

3. eine Beeinflussung der dynamischen Blattbewegungen des Rotors, mit dem Ziel, örtliche Strömungseffekte wie z. B. den Strömungsabriß beim rücklaufenden Blatt zu vermeiden (durch Regelung).

Wesentlich ist, daß Regelgrößen entsprechend den jeweiligen Anforderungen schnell in die erforderlichen Blattverdrehungen umgesetzt werden können.

#### Patentansprüche

1. Rotorblatt aus faserverstärktem Kunsthars, dessen Profil wenigstens im Bereich der Blattspitze durch Aktuatoren um die Rotorblatlängsachse verdrehbar ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Torsionshaut (6) des Rotorblattes (2) im Bereich der Blattspitze (r-R) anisotrop im Sinne einer Zug-Drehkopplung ausgebildet und im Rotorblattholm (4) ein in Längsrichtung des Rotorblattes auf die Rotorblattspitze wirkender steuerbarer Aktuator (8) angeordnet ist.
2. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erreichung der Anisotropie der Torsionshaut (6) eine einseitige Wicklung mit einem Wickelwinkel zur Rotorblatlängsachse, der vom Kraft-Weg-Verhältnis des Aktuators abhängig kleiner als  $45^\circ$  ist, vorgesehen ist.
3. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Blattspitze (r-R) die anisotrop ausgebildete Torsionshaut (6) lose auf dem Rotorblattholm (4) aufliegend angeordnet ist.
4. Rotorblatt nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Torsionshaut (6) und dem Rotorblattholm (4) eine schubweiche Zwischenschicht angeordnet ist.
5. Rotorblatt nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktuator (8) so ausgebildet und angeordnet ist, daß auf die Stirnseite der Rotorblattspitze eine gesteuerte Normalkraft in Blatlängsrichtung aufbringbar ist.
6. Rotorblatt nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktuator (8) im Rotorblatt (2) so abgestützt ist, daß er in seiner Länge veränderbar und über Zugkraft übertragende Mittel (14) mit der Stirnseite der Torsionshaut (16) an der Blattspitze verbunden ist.
7. Rotorblatt nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktuator (8) durch eine Vergrößerung seiner Länge eine Blattverdrehung in die eine Richtung ( $+ \alpha$ ) und durch eine Verkleinerung seiner Länge eine Blattverdrehung in die andere Richtung ( $- \alpha$ ) erzeugen kann.
8. Rotorblatt nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die notwendigen Kräfte für die Blattverdrehung in die eine Richtung durch Aktuatorkräfte erzeugbar und die notwendigen Kräfte für die Blattverdrehung in die andere Richtung durch die Zentrifugalkraft erzeugt werden.
9. Rotorblatt nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Zugkraft übertragendes Mittel ein Strang (14) aus hochfesten Fasern geringer Dehnung vorgesehen ist, der mit einer stirnseitig auf der Rotorblattspitze aufliegenden Ankerplatte (12) verbunden ist, die stirnseitig auf dem Ende der anisotropen Torsionshaut aufliegt und mit dieser fest verbunden ist.
10. Rotorblatt nach Anspruch 9, dadurch gekenn-

zeichnet, daß die Ankerplatte (12) als eine Flieh-  
kraft erzeugende Masse (18) ausgebildet ist.

11. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß als Aktuator (8) ein Piezoaktuator  
vorgesehen ist.

5

12. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß als Aktuator (8) ein magnetostriktiver  
Aktuator vorgesehen ist.

13. Rotorblatt nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß Mittel der Steuerung der die Verdre-  
hung der Torsionshaut bewirkenden Aktuatoren in  
Abhängigkeit von der Rotorblattlage in einem Sy-  
stem mit einem Rotor mit wenigstens einem Rotor-  
blatt vorgesehen sind.

10

14. Rotorblatt nach Anspruch 13, gekennzeichnet  
durch einen Rotor mit wenigstens zwei Rotorblät-  
tern.

15

15. Rotorblatt nach Anspruch 14 dadurch gekenn-  
zeichnet, daß das System ein Drehflügler ist.

16. Rotorblatt nach Anspruch 15, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß Sensoren für die auf die Rotorblätter  
einwirkenden Kräfte vorgesehen sind und daß ein  
Regelkreis vorgesehen ist, mit dem die Änderung  
der Anströmbedingungen durch Verdrehung des  
Profils in Abhängigkeit von den auf die Rotorblät-  
ter wirkenden Kräften und der Lage der Rotorblät-  
ter relativ zum Rumpf des Drehflüglers gesteuert  
werden.

25

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

